

-необхідність багатократного обходу контуру вирізувального отвору при збереженні незмінного розміру пучка випромінювання на поверхні заготовки визначило метод управління інтенсивністю опромінення – використовуючи її залежність від швидкості відносного переміщення пучка випромінювання і заготовки:  $[W_p]_i^e$  – критична за випаровуванням густина потужності: мідь –  $10 \text{ ГВт/см}^2$ ; склотекстоліт СТЕФ –  $1 \text{ ГВт/см}^2$ ;  $\delta_i$  – товщина шару, який видаляється за один прохід ( $0,005 \text{ см}$ ),  $\rho$  – щільність його матеріалу,  $L_i$  – питома теплота випаровування: мідь –  $4,8 \text{ кДж/г}$ , СТЕФ –  $0,59 \text{ кДж/г}$ )

$$V_i = [W_p]_i^e d_0 / (\rho_i L_{ei} \delta_i)$$

-Розрахункові та експериментально перевірені дані наступні:  $V_{Cu} \approx 140 \text{ см/с}$ ,  $V_{СТЕФ} \approx 240 \text{ см/с}$ .

-Висновок: Експериментальні дослідження деяких видів ЛРО (контурне різання і прошивка отворів) на ряду матеріалів (слюда і фольгований склотекстоліт) дозволили уточнити режими запропонованих раніше [1] технологічних схем і оптимальних режимів обробки.

#### Література

1. Процак О.М., Котляров В.П. Дослідження процесу лазерної обробки шаруватих матеріалів. Матеріали конференції молодих вчених ММІ НТУУ «КПІ» Київ:КПІ 2012, с.80-83.

2. Процак О.М., Котляров В.П. Спосіб лазерного пробиття отворів. Патент України №75096 В23К 26/02 від 03.04.2012, опубл. 26.11.2012, б.№22.

УДК 621.375.826:621

Ткачук М., магістрант, Котляров В.П., д.т.н. проф.

### РЕЗУЛЬТАТИ АПРОБАЦІЇ МЕТОДИКИ НЕЗАЛЕЖНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ПУЧКА ВИПРОМІНЮВАННЯ

Керування результатом технологічних операціях лазерної обробки виконується внаслідок надання пучку випромінювання необхідних енергетичних, часових і просторових характеристик, що забезпечують визначений рівень інтенсивності  $I_p$  в зоні опромінення:

$$I_p = P/S = 4E/(\pi d_0^2 t) \quad \text{для нерухомого відносно заготовки джерела енергії;}$$

$$I_p = P/S = E/St = E/[(\pi d_0 / 4 + Vt)d_0 t] \quad \text{при їх відносному переміщенні.}$$

В цих рівняннях додаткова залежність розміру зони опромінення  $d_0$  від просторових параметрів пучка ( $D$  і  $\theta$  – його діаметр та кут розбіжності), а також умов опромінення ( $F$  та  $\Delta F$ ) ускладнює процедуру направлено діяння на рівень узагальненої характеристики  $I_p$ . Експлуатаційними характеристиками технологічних лазерів вважаються залежності характеристик пучка випромінювання від рівня керованого (регульованого) чинника, яким є енергія збудження активного середовища лазера. Такі залежності можуть бути отримані як в результаті класичних (однофакторних), так і багатфакторних експериментів. У зв'язку з тим, що метою досліджень є здобуття ряду залежностей при зміні одного чинника, який керує процесом генерації, доцільно використовувати одно факторну стратегію, що дозволить фізично інтерпретувати отримані результати. Для лазерів з імпульсним накачуванням управління зводиться до змінення рівня і частоти подачі енергії накачування до джерел збудження активного середовища (до лампи накачування або лінійок діодів – для

лазерів на твердому активному середовищі) або за рахунок зміни напруги або ємкості накопичувача. Хоча така дія на режим генерації призводить до одночасної зміни часових і просторових характеристик пучка випромінювання (рис.1а), можлива додаткова дія на тривалість імпульсу перебудовою розрядного контуру  $LC$  джерела струму. Режим роботи лазерів з безперервним накачуванням змінюється дією на розрядний струм через діоди або лампу накачування (лазери на твердому активному середовищі) або в газорозрядній камері (газові лазери) і це призводить до одночасного змінення усіх характеристик пучка випромінювання (рис.1б).

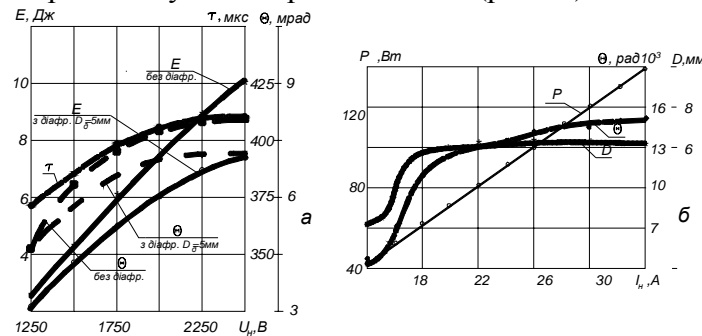


Рис.1. Експлуатаційні характеристики імпульсного та безперервного лазерів

Приведені залежності не лише демонструють неоднозначність впливу енергії накачування на параметри пучка випромінювання, але також дозволяють виявити деякі їх особливості, які можна використовувати при рішенні задачі параметричного управління пучком випромінювання. Усі залежності (крім енергетичних) мають ділянку насичення ( $U_n > 2,0\text{kV}$  та  $I_n > 18\text{A}$ ), в межах якої змінення аргументу майже не впливає на рівень функції ( $D$ ,  $\theta$  і  $\tau$ ). Це дозволяє при більших його значеннях параметрично впливати на рівень  $E$  ( $P$ ) в межах 2Дж (40Вт), не впливаючи на останні параметри. Для розширення меж параметричного керування можна скористатися ступінчастим змінням їх рівня фільтрацією випромінювання нейтральними світлофільтрами. На рис. 2а зображена схема параметричного впливу на енергію випромінювання для формування енергетичного напрямку факторного простору в багатофакторних експериментах. Грубе змінення рівня енергії для зміщення центру її

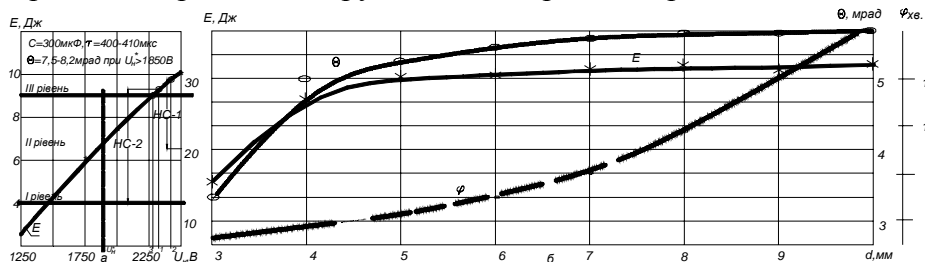


Рис.2. Експериментальні результати параметричного керування енергією та діаметром пучка випромінювання

варіювання енергією накачування виконується фільтрами НС-1 та НС-2, а плавне – за рахунок регулювання напруги в межах  $U_n \in 2000 \div 2500\text{V}$ , тобто  $\Delta E = 2\text{Дж}$ . Таким чином виконано формування трьох рівнів енергії 4,0; 6,5 та 9,0Дж при незмінних рівнях  $D$  та  $\theta$ . Для дискретного, але незалежного управління тривалістю імпульсів випромінювання можна використовувати в джерелах живлення лазера типу «драбина», яка є послідовністю декількох вічок (розрядних контурів з елементами  $C_\theta$  і  $L_\theta$ ). Зміною кількості включених вічок  $n$  управляють тривалістю імпульсу відповідно до залежності  $\tau = n\tau_\theta$ , де  $\tau_\theta$  - тривалість імпульсу випромінювання при використанні одного вічка.

На рис.2б зображені експериментальні результати використання трьох дзеркального резонатора для параметричного (незалежного від кута його розбіжності  $\theta$  та енергії

випромінювання  $E$ ) керування діаметром пучка випромінювання  $D$ . Внутрішнє дзеркало виконано на модовій діафрагмі з отвором відповідного розміру  $d$ , у вигляді ввігнутого конусу, оберненого до активного середовища. Кут нахилу дзеркальної поверхні  $\varphi$  обирається із необхідності надання «обрізаному» діафрагмою променю додаткового кута розбіжності, що б компенсувати різницю між  $\theta_d$  та  $\theta_p$ . Використання третього дзеркала у резонаторі забезпечує роботу периферійної ділянки активного середовища з плавним перекачуванням енергії створеного в ньому кільцевого пучка в центральну його частину, що забезпечує її стабільність в межах  $d \in 4 \div D$  мм. Із графіків видно, що в цьому інтервалі змінення розміру пучка рівень енергії залишається майже незмінним ( $29 \div 30,1$  Дж), що відноситься також і до рівня кута розбіжності ( $4,7 \div 5,5$  мрад). Необхідно також відмітити, що інтервал змінення кута нахилу стінки дзеркала складає  $2 \div 14$  кутових хвилин. До речі, можливе керування просторовими параметрами пучка  $D$  і  $\theta$  за допомогою зовнішніх оптичних пристроїв – одиночної лінзи, або телескопа.

УДК 621.326

Романов Б.С. студ.; Лутай А.М. ст. вик.; Кагляк О.Д. ас.; Блощицин М.С., ас.

### ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРОСТОРОВИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛОКАЛЬНИМИ ТЕПЛОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

Лазерний та плазменний процес формування є економічно вигідним процесом для формування металевих конструкцій, в якості засобу швидкого прототипування і корегування. Формування локальними тепловими джерелами мають велике значення для галузей, які раніше спиралася на дорогі штампи тиснення і преси. Тому у певних галузях промисловості: аерокосмічній, автомобільній, суднобудівній та мікроелектроніці формування локальним тепловим джерелом користується попитом. На відміну від звичайних методів формування цей методу не вимагає механічного контакту і, отже, має багато переваг [1-6]. На базі аналізу результатів виконаних аналітичних розрахунків, проводились експериментальні дослідження процесу плазмового та лазерного формоутворення. Оброблялися зразки з вуглецевої сталі 65Г з розмірами 100x50мм товщиною 0,5мм, з використанням лазерного теплового джерела рис.1. а і плазмового теплового джерела рис.1.б В обох випадках зразки закріплювався консольно в струбчині на відстані 10мм від місця закріплення, пролягав прохід теплового джерела на всю ширину зразка. На відстані 10мм від вільного краю зразка встановлювався індикатор переміщення, рис. 1.

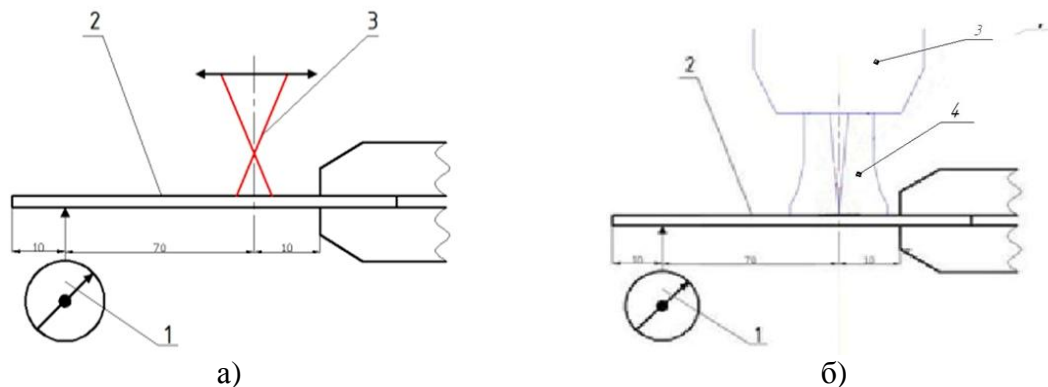


Рис.1. Схеми проведення експерименту: а) лазером 1 – індикатор переміщень, 2 – зразок, 3 – лазерний пучок.; б) плазмою 1 – індикатор переміщень, 2 – зразок, 3-сопло плазмотрона, 4 – факел плазми.